



Article

## O Barômetro da Sustentabilidade em uma Perspectiva Espaço-Temporal: uma Análise por Biomas, RS, Brasil

Jessica Mazutti Penso-Campos <sup>1</sup>, Eliane Fraga Silveira <sup>2</sup>, Eduardo Périco <sup>3</sup>

- <sup>1</sup> Doutora em Ciências: Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), Lajeado, Brasil. Currículo online: <http://lattes.cnpq.br/2758147131747627>. ORCID: 0000-0002-9934-0675, e-mail: [jessica.m.penso@gmail.com](mailto:jessica.m.penso@gmail.com).
- <sup>2</sup> Doutora em Ciências: Biologia Animal. Professora do PPG em Promoção da Saúde (PPGProsaude) da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), Canoas, Brasil. ORCID: 0000-0002-0992-5136, e-mail: [eliane.silveira@ulbra.br](mailto:eliane.silveira@ulbra.br).
- <sup>3</sup> Doutora em Ciências: Ecologia, Professor do PPG em Ambiente e Desenvolvimento (PPGAD) da Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), Lajeado, Brasil. ORCID: 0000-0002-2926-6246, e-mail: [perico@univates.br](mailto:perico@univates.br).

Citation:

Penso-Campos, J.; Silveira, E.; Périco, E. O Barômetro da Sustentabilidade em uma Perspectiva Espaço-Temporal: uma Análise por Biomas, RS, Brasil. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science* 2021, v.10, n.2. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2021v10i2.p132-152>

Received: 10/11/2020

Accepted: 13/05/2021

Published: 31/08/2021

Copyright: © 2021 by the authors.  
Submitted for open access publication under the terms and conditions of *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science* <http://periodicos.unievangelica.edu.br/fronteiras/>.

**Abstract:** The planning and management of biodiversity conservation are constant challenges, and the assessment of sustainability is a relevant tool for these processes. This study aims to analyze sustainability in the municipalities that integrate the biomes of the state of Rio Grande do Sul, which are the Atlantic Forest biome and the Pampa biome, through the application of a Sustainability Barometer model. The proposed model was applied in two time periods, in the year 2000 and in the year 2016, using land use and land cover, pollution, socioeconomic and human health indicators, which have an impact on sustainable development. Spatial distribution and analysis of the degree of sustainability was used, through the Global Moran Index, to determine whether there is a significant spatial correlation with the existence of clusters. The results indicate that the two biomes were considered to have an intermediate degree of sustainability, in the two periods analyzed, and there was no considerable evolution in the degree of sustainability in 16 years. The environmental well-being index was categorized as an intermediary, and the human well-being index was considered higher, with a potentially sustainable degree, in the Atlantic Forest biome. It was possible to measure the degree of sustainability of each variable, in order to understand which ones exert the most negative pressure on sustainable development, as well as which municipalities have the lowest performance. In the Pampa biome, there was a decrease of 14.1% of the municipalities with a potentially sustainable degree to the intermediate degree of sustainability, between periods. The spatial distribution of the degree of sustainability indicates a trend of clusters and a positive and significant correlation ( $p = 0.001$ ), in biomes, both in 2000 and in 2016, indicating that the classification of sustainability is not random.

**Keywords:** Atlantic Forest Biome; Pampa Biome; Environmental Wellbeing Index; Human Wellbeing Index; Moran Index.

**Resumo:** O planejamento e a gestão da conservação da biodiversidade são desafios constantes, e a avaliação da sustentabilidade constitui uma ferramenta relevante para estes processos. O presente estudo tem por objetivo analisar a sustentabilidade nos municípios que integram os biomas do estado do Rio Grande do Sul, que são o bioma Mata Atlântica e o bioma Pampa, através da aplicação de um modelo de Barômetro da Sustentabilidade. O modelo proposto foi aplicado em dois períodos temporais, em 2000 e em 2016, utilizando indicadores de uso e cobertura da terra, de poluição, socioeconômicos e de saúde humana, que trazem impacto ao desenvolvimento sustentável. Foi utilizada a distribuição e análise espacial, do grau de sustentabilidade, através do Índice de Moran Global, para determinar se existe correlação espacial significativa, com a existência de *clusters*. Os resultados indicam que os dois biomas foram considerados com grau intermediário de sustentabilidade, nos dois períodos analisados, e não houve evolução considerável no grau de sustentabilidade em 16 anos. O índice de bem-estar ambiental, também foi categorizado enquanto intermediário, e o índice de bem-estar humano foi considerado maior, com grau potencialmente sustentável, no bioma Mata Atlântica. Foi possível mensurar o grau de sustentabilidade de cada variável, a fim de compreender quais exercem mais pressão negativa ao desenvolvimento sustentável, assim como, quais os municípios com menor desempenho. No bioma Pampa, houve diminuição de 14,1% dos municípios com grau potencialmente sustentável para o grau intermediário de sustentabilidade, entre os períodos. A distribuição espacial do grau de sustentabilidade indica tendência de *clusters* e correlação positiva e significativa ( $p=0,001$ ), nos biomas, tanto em 2000 quanto em 2016, indicando que a classificação da sustentabilidade não é aleatória.

**Palavras-chave:** Bioma Mata Atlântica; Bioma Pampa; Índice de Bem-Estar Ambiental; Índice de Bem-Estar Humano; Índice de Moran.

## 1. Introdução

O desenvolvimento sustentável integra um conjunto de paradigmas sobre o uso e a preservação de recursos renováveis e não renováveis, utilizados para "satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades" (UNWCED 1987, p. 41). Ele considera três pilares fundamentais para a sustentabilidade, o ambiental, o econômico e o sociopolítico, embora haja a implicância de que os dois últimos só existirão se houver sustentabilidade ambiental.

As ações antrópicas, relacionadas ao impulso pelo desenvolvimento econômico desordenado, constituem agravos ambientais que podem vir a ser irreversíveis (Saraiva et al. 2018; Dalchiavon et al. 2017). Visando o atual cenário ambiental, marcado por problemáticas relacionadas à erosão, à vulnerabilidade da fauna e da flora, à poluição, ao aumento constante do uso de agrotóxicos, à expansão das áreas produtivas, e a extração desenfreada dos recursos naturais, torna-se notória a necessidade emergente de ações de gestão ambiental (Saraiva et al. 2018; Santos et al. 2020).

O Barômetro da Sustentabilidade é um método de análise bidimensional, que mensura o grau da sustentabilidade, tendo em vista, a pressão exercida e experimentada pelo binômio humano-ambiente, possibilitando analisar e representar graficamente o grau de sustentabilidade da

unidade geográfica analisada, a partir da interação entre pessoas e meio ambiente (Guijt 2001). Considerado como um instrumento voltado, principalmente, para a administração pública, contribui para a gestão e a tomada de decisão, acerca do desenvolvimento sustentável, tanto em um nível do sistema global, como local. Estudos utilizando o instrumento Barômetro da Sustentabilidade foram realizados para avaliar o grau de sustentabilidade do País (Kronemberger et al. 2008), de estados (Cetrulo & Cetrulo, 2014; Dalchiavon et al. 2017; Guimaraes et al. 2010) e de municípios (Batalhão et al. 2017; Pereira et al. 2017; Quintela et al. 2018; Vale et al. 2020).

O Barômetro da Sustentabilidade indicou que o Rio Grande do Sul é considerado o estado brasileiro com melhor desempenho, no que tange o desenvolvimento sustentável, e embora não tenha sido classificado como sustentável, foi categorizado como potencialmente sustentável, indicando a tendência para a sustentabilidade. Na sequência, os demais estados com valores positivos foram Santa Catarina e Paraná, que mostra que a região sul apresenta os melhores padrões para a sustentabilidade, contudo, alavancada principalmente pelos indicadores de bem-estar humano (Cetrulo & Cetrulo 2014).

O Rio Grande do Sul integra dois biomas, Mata Atlântica e Pampa, que apresentam singularidades relacionadas ao clima, solo, relevo e ecossistemas distintos, com uma elevada biodiversidade nativa, permitindo o refúgio de inúmeras espécies endêmicas de fauna e flora, incluindo espécies ameaçadas de extinção. O bioma Mata Atlântica é formado por vegetação florestal, abrange a metade norte e cobre cerca de 37% do território do Rio Grande do Sul, com cerca de 7,5% de áreas remanescentes, oriundas de atividades antrópicas e da fragmentação. Dessas áreas, aproximadamente 2.931.900 hectares estão protegidos, pela instituição da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica do Rio Grande do Sul, desde 1993 (Ribeiro et al. 2011).

O bioma Pampa é caracterizado por um campo temperado, com grande riqueza de espécies nativas e endêmicas, e também apresenta importante papel como produtor de alimentos, contempla a metade sul do Estado, delimitado à nível nacional ao Rio Grande do Sul, ocupando aproximadamente 63% do território (Renner et al. 2019; Lima et al. 2020), e é considerado o bioma menos protegido do Brasil (Lima et al. 2020). Portanto, foi proposto um modelo de Planejamento Sistemático da Conservação para o bioma Pampa brasileiro, que almeja a proteção de cerca de 17% da área do bioma, visando a conservação dos tipos de vegetação (Lima et al. 2020). O modelo apresenta três cenários, que variam em suas proporções de áreas de proteção integral (PI) e de uso sustentável (US): o primeiro caracteriza um cenário permissivo (5% PI, 12% US), o segundo indica um cenário intermediário (10% PI, 7% US) e o terceiro aborda um cenário restritivo (15% PI, 2% US). As áreas de uso sustentável possibilitariam a agropecuária de baixa densidade, buscando a concomitância entre a agropecuária e a conservação da biodiversidade local, enquanto que, as áreas de proteção integral são ideais para a manutenção de espécies ameaçadas pelas atividades antrópicas. Porém, este modelo não foi aplicado na prática.

Tendo em vista que, o planejamento e a gestão da conservação da biodiversidade é um desafio, uma vez que é preciso levar em consideração as características locais do ecossistema, e também as necessidades humanas, principalmente relacionadas com a produção de alimentos, e compreendendo que, a avaliação da sustentabilidade é uma ferramenta relevante para o processo de gestão, pois permite avaliar aspectos positivos e outros que podem ser melhorados, o presente estudo tem por objetivo analisar a sustentabilidade nos biomas que fazem parte do estado do Rio Grande do Sul, que

apresenta problemas ambientais de áreas fragmentadas e comporta um dos biomas menos protegido do País, através da aplicação de um modelo de Barômetro da Sustentabilidade.

## 2. Material and Métodos

O Barômetro da Sustentabilidade é um instrumento desenvolvido por especialistas canadenses ligados à União Internacional para Conservação da Natureza (UICN) e ao International Development Research Centre (IDRC), e possibilita mensurar o grau de sustentabilidade de uma unidade espacial de análise predeterminada, através de padrões de interação entre as pessoas e o meio ambiente, por meio de um conjunto de indicadores integrados (Guijt 2001). Nesse estudo, as unidades espaciais são os dois biomas do Rio Grande do Sul, o bioma Mata Atlântica e o bioma Pampa. A aplicação ocorreu utilizando indicadores de dois períodos temporais, do ano 2000 e do ano de 2016.

Os indicadores foram coletados e classificados de acordo com as duas dimensões que o Barômetro da Sustentabilidade se propõe a analisar, a dimensão ambiental e a dimensão humana. Fizeram parte da dimensão ambiental, duas subdimensões: 1) Indicadores de uso e cobertura da terra: área de floresta (ha), área de formação natural não florestal (ha), área de agropecuária (ha), área não vegetada (ha) e área de corpo d'água (ha). 2) Indicadores de poluição: Índice de Potencial Poluidor da Indústria, coeficiente de veículos em circulação (por 1.000 habitantes), percentual de destinação sanitária adequada e percentual de coleta de resíduos.

Para a dimensão humana, também foram consideradas duas subdimensões: 1) Indicadores socioeconômicos: coeficiente de Gini, renda média domiciliar *per capita*, Produto Interno Bruto (PIB), taxa de analfabetismo, Índice de Desenvolvimento Socioeconômico (IDESE) – do qual foi coletado o resultado geral e o resultado para cada bloco de análise, sendo educação (Idese - variável educação), renda (Idese - variável renda) e saúde (Idese - variável saúde) e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), também com a coleta do resultado geral e do resultado por bloco (IDH - variável renda, IDH - variável saúde e IDH - variável educação). 2) Indicadores de saúde humana: percentual de cobertura dos serviços públicos de atenção básica em saúde – responsável pela resolução de 80% a 90% das necessidades de saúde (OPAS 2020) e os coeficientes de mortalidade pelos quatro grupos principais de doenças crônicas não transmissíveis (doença circulatória, doença respiratória, diabetes mellitus e neoplasia), considerados problemas públicos de saúde e de desenvolvimento sustentável (Brasil 2011). Para os indicadores de mortalidade e de frota de veículos, foi coletado o número absoluto de eventos por município, e transformado em coeficientes, segundo a fórmula:

$$\text{Coeficiente} = \left( \frac{\text{número de eventos registrado por município e ano}}{\text{número de habitantes por município no mesmo ano}} \right) \times 1.000 \text{ habitantes}$$

Para a construção do modelo de Barômetro da Sustentabilidade, foram utilizados os valores municipais de cada indicador, considerando, como critérios, municípios que faziam parte de apenas um dos dois biomas, e não fizessem parte da região costeira - isso porque, embora os municípios da região costeira pertençam ao bioma pampa (exceto o município de Torres), a região apresenta peculiaridades relacionadas às características fisionômicas e do turismo de temporada, que impacta de forma sazonal os indicadores socioeconômicos e ambientais, que poderiam servir como viés ao estudo. Para o presente estudo, foram utilizados 394 municípios no primeiro período e 420 no segundo, a diferença se deve aos processos emancipatórios ocorridos entre 2000 e 2016 (Tabela 1).

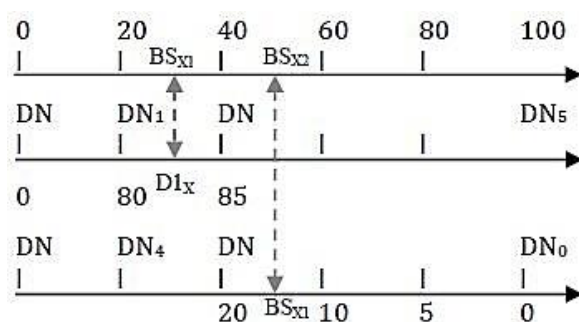
**Tabela 1.** Classificação da amostra, conforme os critérios de inclusão e exclusão, do modelo de Barômetro da Sustentabilidade proposto, 2020.

2000				2016			
467 municípios no Rio Grande do Sul				497 municípios no Rio Grande do Sul			
321 (68,7%) BMA	73 (15,6%) BP	56 (12,0%) MCDB	17 (3,6%) RC	342 (68,8%) BMA	78 (15,7%) BP	60 (12,1%) MCDB	17 (3,4%) RC
Amostra utilizada 394 (84,4%)		Amostra rejeitada 73 (15,6%)		Amostra utilizada 420 (84,5%)		Amostra rejeitada 77 (15,5%)	

Fonte: Elaborado pelos autores. Legenda: BMA – bioma Mata Atlântica; BP – bioma Pampa; MCDB – municípios que contemplavam os dois biomas em sua área territorial; RC – municípios da região costeira.

A construção do modelo seguiu o protocolo do UICN *Resource Kit For Sustainability Assessment* (Guijt 2001), que apresenta sete estágios de operacionalização, sendo eles: determinar a finalidade da avaliação, definição do sistema, indicação das dimensões e critérios, escolha dos indicadores, coleta de dados, análise de dados e revisão dos resultados.

O grau de sustentabilidade de cada indicador foi mensurado através da conversão da escala de desempenho para a escala do Barômetro da Sustentabilidade, por meio da interpolação linear simples, possibilitando categorizar o grau de sustentabilidade em cinco intervalos: 1) insustentável; 2) potencialmente insustentável; 3) intermediário; 4) potencialmente sustentável; 5) sustentável, conforme a seguinte fórmula:



$$BSx = \left\{ \left[ \frac{(DNa - DNx)(BSa - BSp)}{(DNa - DNp)} \right] x (-1) \right\} + BSa$$

Fonte: Adaptado de Kronemberger et al. (2008). Legenda: DNx - Desempenho do Indicador para os municípios de cada bioma do Rio Grande do Sul; a - limite anterior do intervalo que contém x; p - limite superior do intervalo que contém x.

Através do cálculo, foi possível analisar o grau de sustentabilidade de cada variável, a fim de compreender quais delas exercem mais pressão negativa, e a média aritmética delas, por dimensão, possibilitou mensurar o Índice de Bem-Estar Ambiental e o Índice de Bem-Estar Humano. O cálculo também apontou o grau de sustentabilidade de cada município e de cada bioma, do Rio Grande do Sul, que foi apresentado em gráfico cartesiano.

Foi utilizada a distribuição e análise espacial, do grau de sustentabilidade, através do Índice de Moran Global, para determinar se existe correlação espacial significativa entre os municípios de cada bioma, a fim de avaliar a existência de *clusters* e levantar hipóteses relacionadas. O Índice de Moran foi

calculado utilizando um modelo de matriz de proximidade espacial de primeira ordem  $W$  ( $n \times n$ ), tendo a contiguidade como estratégia de construção da matriz, que considera como vizinhos os municípios que dividem fronteira adjacente, e a significância foi calculada através do teste de pseudo-significância, através de 999 permutações.

Para refinar a avaliação dos serviços públicos de saúde, foram realizadas correlações entre a cobertura dos serviços de atenção básica em saúde com a mortalidade por doenças circulatórias, doenças respiratórias, diabetes mellitus e neoplasias, para cada um dos biomas, por meio da correlação de Pearson. Os dados foram armazenados em planilha *Excel*, analisados no *software* SPSS 20 e no ArcGis 10.3, aonde foram gerados os mapas temáticos.

### 3. Resultados e discussão

#### *Sustentabilidade no bioma Mata Atlântica*

O índice de sustentabilidade para o bioma Mata Atlântica, foi 54,78 graus no primeiro período, e de 59,14 graus no segundo período, sendo enquadrado no nível intermediário de sustentabilidade, nos dois momentos (Tabela 2). Um estudo realizado em Ribeirão Preto, São Paulo, também indicou grau intermediário de sustentabilidade, com melhor desempenho na dimensão humana, tendo em vista que o instrumento consiste em um método de análise bidimensional, que analisa o bem-estar nas dimensões ambiental e humana (Batalhão et al. 2017).

No presente estudo, o índice de bem-estar ambiental foi de 48,43 graus no ano 2000, e de 50,78 graus no ano de 2016, representando o grau intermediário de sustentabilidade, nos dois períodos. O índice bem-estar humano foi de 61,13 graus no ano 2000, e de 67,50 graus no ano de 2016, representando o grau de potencialmente sustentável, nos dois períodos, segue a tendência do estudo de Batalhão et al. (2017), revelando que nos municípios que compõe o bioma Mata Atlântica, no Rio Grande do Sul, existe uma preocupação maior com as questões de bem-estar humano, em detrimento às questões de bem-estar ambiental (Tabela 2). O indicador de desempenho e o indicador do Barômetro da Sustentabilidade, de cada variável, que compõe a dimensão ambiental e a dimensão humana, estão apresentados na Tabela 2, para os dois períodos de análise, a fim de compreender as mudanças nos indicadores, entre o primeiro e o segundo período, e também, entender quais foram os indicadores que mais exerceram pressão negativa, para a sustentabilidade.

Para o bioma Mata Atlântica, dos 321 municípios considerados, neste estudo, no primeiro período, 184 (57,3%) são categorizados com grau intermediário de sustentabilidade e 137 (42,7%) com grau potencialmente sustentável. O *ranking* dos cinco municípios do bioma Mata Atlântica com melhor desempenho de sustentabilidade (categorizados com grau potencialmente sustentável), no primeiro período, foram: Picada Café (70,68), Ivoti (69,73), Caxias do Sul (68,99), Carlos Barbosa (68,73) e Dois Irmãos (67,76).

No segundo período, dos 342 municípios analisados, 212 (62,0%) são categorizados com grau intermediário de sustentabilidade e 130 (38,0%) com grau potencialmente sustentável. O *ranking* dos cinco municípios do bioma Mata Atlântica com melhor desempenho de sustentabilidade (categorizados com grau potencialmente sustentável), no segundo período, foram: Guabiju (67,68), Carlos Barbosa (67,28), Morro Reuter (67,26), Dois Irmãos (67,12) e Picada Café (66,91). A

espacialização do grau de sustentabilidade, dos municípios do bioma Mata Atlântica, no período de 2000 e de 2016, está apresentada na Figura 1.

Vale et al. (2020), utilizaram o Barômetro da Sustentabilidade para avaliação em 26 municípios do Pará, que fazem parte do “arco do desmatamento”, em dois períodos temporais, 2000 e 2010, indicando que dois municípios foram considerados com grau intermediário de sustentabilidade, cinco municípios progrediram para o mesmo nível no segundo período, enquanto que os demais permaneceram em situação de desfavorável. Para os autores, houve resultados positivos em relação a diminuição do desmatamento, contudo, não foi suficiente para alterar a classificação da sustentabilidade.

A distribuição espacial do grau de sustentabilidade, no primeiro período, indica tendência de *clusters* para o grau intermediário de sustentabilidade na região noroeste e sul, enquanto que, o grau potencialmente sustentável esteve mais presente na parte leste, principalmente, no nordeste e no sudeste, do bioma Mata Atlântica. A análise espacial indicou correlação positiva, moderada e significativa ( $p=0,001$ ), para a correlação do grau de sustentabilidade no bioma, indicando que o grau de sustentabilidade não é aleatório, e depende de indicadores locais, presentes em grupos de municípios que dividem fronteiras adjacentes (Figura 1). Os indicadores ambientais com maior impacto, entre os *clusters* considerados com grau intermediário de sustentabilidade e aqueles com grau potencialmente sustentável, foram: coleta de lixo, destinação sanitária adequada e área de floresta em hectares, com 36,18 graus, 13,82 graus e 5,03 graus, respectivamente, para a área considerada com grau intermediário de sustentabilidade, e 57,46 graus, 47,26 graus e 7,04 graus na área potencialmente sustentável.

A espacialização no segundo período tornou os *clusters* mais nítidos, a correlação foi positiva, forte e significativa ( $p=0,001$ ), com tendência para o grau intermediário de sustentabilidade na parte oeste e sul, e grau potencialmente sustentável ao leste, principalmente na parte sudeste (Figura 1). No segundo período, os indicadores ambientais que mais apresentaram variação, entre os *clusters* com grau intermediário e aqueles com grau potencialmente sustentável, também foram lixo coletado, destinação sanitária adequada e área de floresta, com 66,85 graus, 30,36 graus e 3,65 graus, respectivamente, para a área considerada com grau intermediário de sustentabilidade, e 87,04 graus, 67,12 graus e 6,05 graus na região potencialmente sustentável. Esse indicador mostra que essas são as variáveis ambientais com maior variação entre os locais com grau intermediário e potencialmente sustentável.

**Tabela 2.** Indicador de desempenho (ID) e Indicador do Barômetro da Sustentabilidade (IBS), das variáveis por dimensão e período, no bioma Mata Atlântica, 2000 e 2016.

Dimensão	Variável	2000		2016	
		ID	IBS	ID	IBS
Ambiental	Índice de Potencial Poluidor da Indústria	0,1	100	0,09	100
	Coeficiente de veículos em circulação	360,9	59,8	611,64	43,51
	Destinação sanitária em rede geral de esgoto ou fossa séptica	30,61	31,08	43,98	44,33
	Coleta de resíduos por serviço de limpeza	48,62	49,06	74,45	74,52
	Área de floresta em hectares	7978,65	6,93	8205,47	5,57
	Área de formação natural não florestal em hectares	2840,46	1,44	1915,7	1,27

	Área de agropecuária em hectares	16024,01	88,17	15860,43	88,2
	Área não vegetada em hectares	179,27	97,28	255,04	97,15
	Área de corpo d'água em hectares	262,3	2,15	302,08	2,47
	Barômetro por dimensão	48,43		50,78	
Humana	Renda média domiciliar <i>per capita</i>	490,15	32,04	762,3	50,23
	PIB	5946,78	21,92	27183,69	17,32
	Coeficiente de Gini	0,5	57,62	0,46	36,55
	Taxa de analfabetismo	8,2	69,8	6,38	66,6
	Idese - variável educação	0,64	65,26	0,73	69,57
	Idese - variável renda	0,59	48,47	0,7	53,37
	Idese - variável saúde	0,83	55,56	0,85	54,07
	IDH - variável renda	0,65	51,77	0,73	86,6
	IDH - variável saúde	0,79	56,07	0,84	94,38
	IDH - variável educação	0,45	57,05	0,61	80,9
	Cobertura dos serviços de atenção básica à saúde	89,51	89,51	94	94
	Coeficiente de óbitos por doença circulatória	0,81	68,48	0,62	69,31
	Coeficiente de óbitos por doença respiratória	0,22	82,81	0,16	82,61
	Coeficiente de óbitos por neoplasia	0,69	71,6	0,82	65,11
	Coeficiente de óbitos por diabetes mellitus	0,07	89,06	0,09	91,82
	Barômetro por dimensão	61,13		67,50	
	Barômetro da sustentabilidade para o bioma Mata Atlântica	54,78		59,14	

Fonte: Elaborado pelos autores.

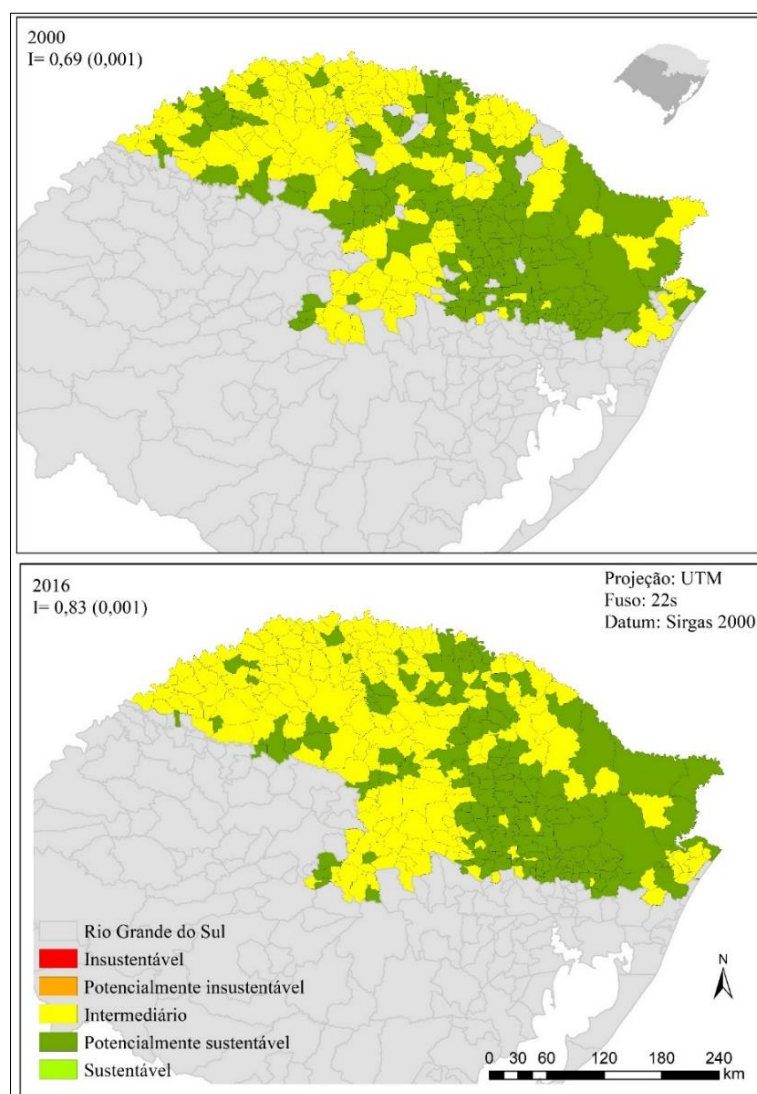
Guimarães et al. (2010) também realizaram a distribuição espacial do grau de sustentabilidade, nas microrregiões do estado do Mato Grosso do Sul, em um estudo que analisou a sustentabilidade em relação à ampliação do cultivo canavieiro. Os resultados apontam que entre as dez microrregiões, quatro estiveram classificadas em nível intermediário de sustentabilidade, enquanto as demais foram consideradas insustentáveis. Para os autores, o fator protetivo esteve relacionado ao não aumento no plantio, entre o período de 1990 a 2007, nas quatro regiões, uma vez que, elas integram a área do Pantanal, que detêm de legislação limitante à expansão canavieira (Guimarães et al. 2010).

No bioma Mata Atlântica, o índice de potencial poluidor da indústria diminuiu em 10%, com variação absoluta ( $\Delta x$ ) de -0,01, entre os dois períodos, contudo, a média do coeficiente de veículos em circulação (por 1.000 habitantes) aumentou 69,48% ( $\Delta x$  250,74). A média da destinação sanitária adequada e a de coleta de resíduos, também seguiu tendência de aumento, a destinação sanitária adequada em 43,68% ( $\Delta x$  13,37) e a média da coleta de resíduos em 53,13% ( $\Delta x$  25,83). A análise descritiva por dimensão e variável, dos municípios do bioma Mata Atlântica, em 2000 e 2016, está apresentada na Tabela 3.

Em relação ao uso e cobertura do solo, a média da área de floresta em hectares nos municípios do bioma Mata Atlântica aumentou em 2,84% ( $\Delta x$  226,82), entre 2000 e 2016. Embora, a área de formação natural não florestal teve tendência contrária, com diminuição de 32,6% ( $\Delta x$  -924,76). A média da área de agropecuária em hectares diminuiu em -1,02% ( $\Delta x$  -163,58), da área não vegetada aumentou em 42,3% ( $\Delta x$  75,77) e da área de corpo de água aumentou em 15,17% ( $\Delta x$  39,78). A área



em hectare, quilometro quadrado, porcentagem e variação temporal das classes de uso e cobertura do solo no bioma Mata Atlântica, em 2000 e 2016, está na Tabela 4.



**Figura 1.** Espacialização do grau de sustentabilidade dos municípios do bioma Mata Atlântica do Rio Grande do Sul, 2000 e 2016. Fonte: Elaborado pelos autores. Legenda: p= Índice de Moran, através de 999 permutações.

O estudo de Dalchiavon et al. (2017) analisou a sustentabilidade nos três estados da região sul do País, sendo eles, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, indicando que, as maiores deficiências para os estados de Paraná e Santa Catarina são os indicadores institucionais (30,5 e 34,7 graus), enquanto que para o Rio Grande do Sul são os indicadores de cobertura vegetal (34,0 graus).

**Tabela 3.** Análise descritiva por dimensão e variável, municípios do bioma Mata Atlântica, em 2000 e 2016.

Variável	2000				2016			
	Mínimo	Máximo	Média	dp	Mínimo	Máximo	Média	dp
Índice de Potencial Poluidor da Indústria	0	7,233	0,10	0,45	0	8,514	0,09	0,49
Frota de veículos em circulação	343	189654	4600,23	12628,66	683	303766	7565,99	20180,15

Coeficiente de veículos em circulação	149,67	675,08	360,90	108,74	239,65	898,21	611,64	113,29
Destinação sanitária em rede geral de esgoto ou fossa séptica	0	98,5	30,61	29,32	0	99,2	43,98	27,18
Coleta de resíduos por serviço de limpeza	0	99,1	48,62	25,33	0	99,9	74,45	21,59
Área de floresta em hectares	333,40	110712,72	7978,65	11374,45	359,60	141098,82	8205,47	12734,42
Área de formação natural não florestal em hectares	0	197800,38	2840,46	16758,42	0	150959,22	1915,70	11857,45
Área de agropecuária em hectares	709,43	130197,91	16024,01	16366,03	677,54	129388,57	15860,43	16865,73
Área não vegetada em hectares	0	6602,53	179,27	489,42	6,26	8722,19	255,04	638,81
Área de corpo d'água em hectares	0	12221,74	262,30	986,37	0	12221,75	302,08	987,32

Fonte: Elaborado pelos autores. Legenda: dp= desvio padrão.

A renda média domiciliar *per capita* no bioma da Mata Atlântica foi de R\$ 490,15, no primeiro período, evoluindo para R\$ 762,30 no segundo, com variação de 55,5% ( $\Delta x$  R\$ 272,15). O PIB variou de R\$ 5.946,78 (2000) para R\$ 27.183,69 (2016), em 357,12% ( $\Delta x$  R\$ 21.236,91). O coeficiente de Gini resultou em 0,50 no primeiro período, para 0,46 no segundo, variando positivamente em 8% ( $\Delta x$  -0,04), contudo, demonstrando desigualdade econômica. A taxa de analfabetismo no primeiro período foi de 8,20%, diminuindo para 6,38%, representando tendência na qualificação da alfabetização, com variação em 22,2% ( $\Delta x$  -1,82).

**Tabela 4.** Área em hectare, quilometro quadrado, porcentagem e variação temporal das classes de uso e cobertura do solo no bioma Mata Atlântica (RS), em 2000 e 2016.

	2000			2016		
	Ha	Km <sup>2</sup>	%	Ha	Km <sup>2</sup>	%
Floresta	2680007,49	26800,07	29,34	2806269,76	28062,70	30,92
Formação natural não florestal	938706,62	9387,07	10,28	655170,81	6551,71	7,22
Agropecuária	5371030,98	53710,31	58,80	5424268,14	54242,68	59,76
Área não vegetada	57765,10	577,65	0,63	87222,97	872,23	0,96
Corpo d'água	87135,74	871,36	0,95	103311,26	1033,11	1,14
Não observado	11,93	0,12	0,00	12,16	0,12	0,00

Fonte: Elaborado pelos autores.

No bioma Mata Atlântica o valor geral do Idese foi de 0,69 no ano 2000, e de 0,76 em 2016, alterando positivamente em 10,14%, tendo como destaque o bloco saúde, nos dois períodos analisados. Em relação ao IDH, a média do bioma Mata Atlântica foi de 0,61 no primeiro período e de 0,72 no segundo, modificando em 18%, com destaque para o bloco da saúde, apresentando os valores mais promissores.

Em relação à mortalidade por doenças crônicas não transmissíveis, no bioma Mata Atlântica, os dados apontam para diminuição na média do coeficiente de óbitos por doença circulatória, com diminuição absoluta de 0,19 (23,46%) e no coeficiente de óbitos por doença respiratória, variação absoluta de 0,06 (27,27%). Contudo, há aumento no coeficiente de óbitos por neoplasia em 18,84%

( $\Delta x$  0,13) e no coeficiente de óbitos por diabetes mellitus em 28,57% ( $\Delta x$  0,02). De qualquer forma, em média, as doenças circulatórias ( $\bar{x}$  8,80) são responsáveis pela maior parte dos óbitos, seguida pela doença de origem neoplásica ( $\bar{x}$  7,65). No segundo período, os óbitos por neoplasia ( $\bar{x}$  9,43) ganham destaque, ultrapassando aqueles por doenças circulatórias ( $\bar{x}$  7,14).

Para o bioma Mata Atlântica, existe correlação inversa significativa entre a cobertura dos serviços públicos primários de saúde, com a mortalidade por diabetes mellitus, no primeiro ( $r = -0,299$ ;  $p = 0,000$ ) e no segundo período ( $r = -0,297$ ;  $p = 0,000$ ). Em 2000, a cobertura dos serviços de atenção básica teve relação inversa com a mortalidade por neoplasia ( $r = -0,130$ ;  $p = 0,016$ ) e, em 2016, com a mortalidade por doenças circulatórias ( $r = -0,132$ ;  $p = 0,015$ ).

As doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) são consideradas um problema para o desenvolvimento sustentável, uma vez que está relacionada à gastos públicos com aposentadorias precoces, geradas por incapacidades físicas, que comprometem a qualidade de vida e a autonomia das pessoas acometidas, sendo recomendado que “o fortalecimento da prevenção e o controle de DCNT devem, também, ser considerados como parte integral dos programas de redução da pobreza e outros programas de assistência ao desenvolvimento” (Brasil 2011, p. 64).

### ***Sustentabilidade no bioma Pampa***

O índice de sustentabilidade para o bioma Pampa, foi de 52,03 graus no primeiro período, e de 54,21 graus no segundo período, sendo enquadrado, semelhantemente ao bioma Mata Atlântica, no nível intermediário de sustentabilidade, em ambos os períodos (Tabela 5). Essa classificação também foi encontrada na avaliação da sustentabilidade na região metropolitana de Belém, em relação aos municípios de Belém, Ananindeua e Marituba (Pereira et al. 2017).

Avaliando os índices de forma isolada, o índice de bem-estar ambiental foi 55,07 graus no primeiro período, e de 55,23 graus no segundo período, representando o grau intermediário de sustentabilidade, nos dois períodos, semelhante ao bioma Mata Atlântica. O índice bem-estar humano apresentou o valor de 49,00 graus no primeiro período, e de 53,19 graus no segundo período, representando o grau intermediário, nos dois períodos (Tabela 5), ou seja, abaixo do índice de bem-estar humano apresentado pelo bioma Mata Atlântica. No estudo de Pereira et al. (2017), houve tendência para a dimensão social ser classificada com grau intermediário de sustentabilidade, com exceção no município de Marituba, que apresentou classificação como potencialmente insustentável.

Os resultados apontam quais foram os indicadores que mais exerceram pressão negativa, para a sustentabilidade, assim como, os indicadores de desempenho e os indicadores do Barômetro da Sustentabilidade, para cada variável que compõe o modelo, no bioma Pampa (Tabela 5). Nesse bioma, dos 73 municípios analisados no primeiro período, 40 (54,8%) são categorizados com grau intermediário e 33 (45,2%) com grau potencialmente sustentável. O *ranking* dos cinco municípios do bioma Pampa com melhor desempenho de sustentabilidade (categorizados com grau potencialmente sustentável), no primeiro período, foram: Porto Alegre (68,63), Charqueadas (66,79), Capivari do Sul (66,23), Bagé (65,67) e Sant'Ana do Livramento (65,47).

No segundo período, entre os 78 municípios analisados, 67 (85,9%) são categorizados com grau intermediário e 11 (14,1%) com grau potencialmente sustentável. O *ranking* dos cinco municípios do bioma Pampa com melhor desempenho de sustentabilidade, no segundo período, foi na categoria

potencialmente sustentável: Charqueadas (63,98), Porto Alegre (63,27), Esteio (63,04), Nova Santa Rita (61,57) e Alegrete (61,57).

O bioma Pampa apresentou tendência de diminuição, nos municípios categorizados com grau potencialmente sustentável, para o grau intermediário de sustentabilidade. No primeiro período, 45,2% dos municípios do bioma Pampa apresentavam grau de sustentabilidade categorizado em potencialmente sustentável, diminuindo para 14,1% no segundo período. Esse indicador é um importante demonstrativo do risco, considerando que o Pampa é o bioma menos protegido do Brasil (LIMA et al. 2020). A espacialização do grau de sustentabilidade, dos municípios do bioma Pampa, no período de 2000 e de 2016, está apresentada na Figura 2.

A distribuição espacial do grau de sustentabilidade, no primeiro período, indica tendência de *clusters* para o grau intermediário de sustentabilidade na parte leste e na região noroeste, enquanto que, o grau potencialmente sustentável está indicado na parte oeste, e na região nordeste. A análise espacial indicou correlação positiva, forte e significativa ( $p=0,001$ ), na relação do grau de sustentabilidade nos municípios do bioma, indicando que o grau de sustentabilidade não é aleatório, e depende de indicadores locais, presentes em grupos de municípios que dividem fronteiras adjacentes (Figura 2). No bioma Pampa, no primeiro período, os indicadores ambientais com maior impacto, entre os *clusters* considerados com grau intermediário de sustentabilidade e aqueles com grau potencialmente sustentável, foram: lixo coletado e destinação sanitária adequada, com 52,25 graus e 38,63 graus, respectivamente, para a área considerada com grau intermediário de sustentabilidade, e 79,96 graus e 71,30 graus na região potencialmente sustentável.

**Tabela 5.** Indicador de desempenho (ID) e Indicador do barômetro da sustentabilidade (IBS), das variáveis por dimensão e período, no bioma Pampa, 2000 e 2016.

Dimensão	Variável	2000		2016	
		ID	IBS	ID	IBS
Ambiental	Índice de Potencial Poluidor da Indústria	0,41	100	0,43	100
	Coeficiente de veículos em circulação	290,81	50,28	514,68	49,51
	Destinação sanitária em rede geral de esgoto ou fossa séptica	56,45	59,14	62,37	64,82
	Coleta de resíduos por serviço de limpeza	68,67	68,68	76,96	71,77
	Área de floresta em hectares	23584,22	17,76	27409,95	15,17
	Área de formação natural não florestal em hectares	84916,51	14,73	72586,86	13,18
	Área de agropecuária em hectares	49479,13	83,51	55684,38	81,47
	Área não vegetada em hectares	1382,81	90,06	1469,57	90,93
	Área de corpo d'água em hectares	3530,43	11,43	3628,23	10,24
	Barômetro por dimensão	55,07		55,23	
Humano	Renda média domiciliar <i>per capita</i>	481,45	20,18	627,34	20,89
	PIB	5743,09	25,42	22355,91	20,73
	Coeficiente de Gini	0,56	65,29	0,52	69,73
	Taxa de analfabetismo	9,79	52,93	7,38	56,83
	Idese - variável educação	0,57	59,89	0,65	53,97

Idese - variável renda	0,53	33,33	0,63	46,96
Idese - variável saúde	0,77	49,14	0,79	53,89
IDH - variável renda	0,65	34,31	0,7	30,71
IDH - variável saúde	0,78	56,16	0,84	67,89
IDH - variável educação	0,42	51,27	0,57	55,38
Cobertura dos serviços de atenção básica à saúde	68,38	67,4	80,76	78,6
Coeficiente de óbitos por doença circulatória	1	35,48	0,81	59,7
Coeficiente de óbitos por doença respiratória	0,27	72,16	0,23	68,49
Coeficiente de óbitos por neoplasia	0,89	41,83	0,87	46,63
Coeficiente de óbitos por diabetes mellitus	0,11	70,27	0,14	67,44
Barômetro por dimensão	49,00		53,19	
Barômetro da sustentabilidade para o bioma Pampa	52,03		54,21	

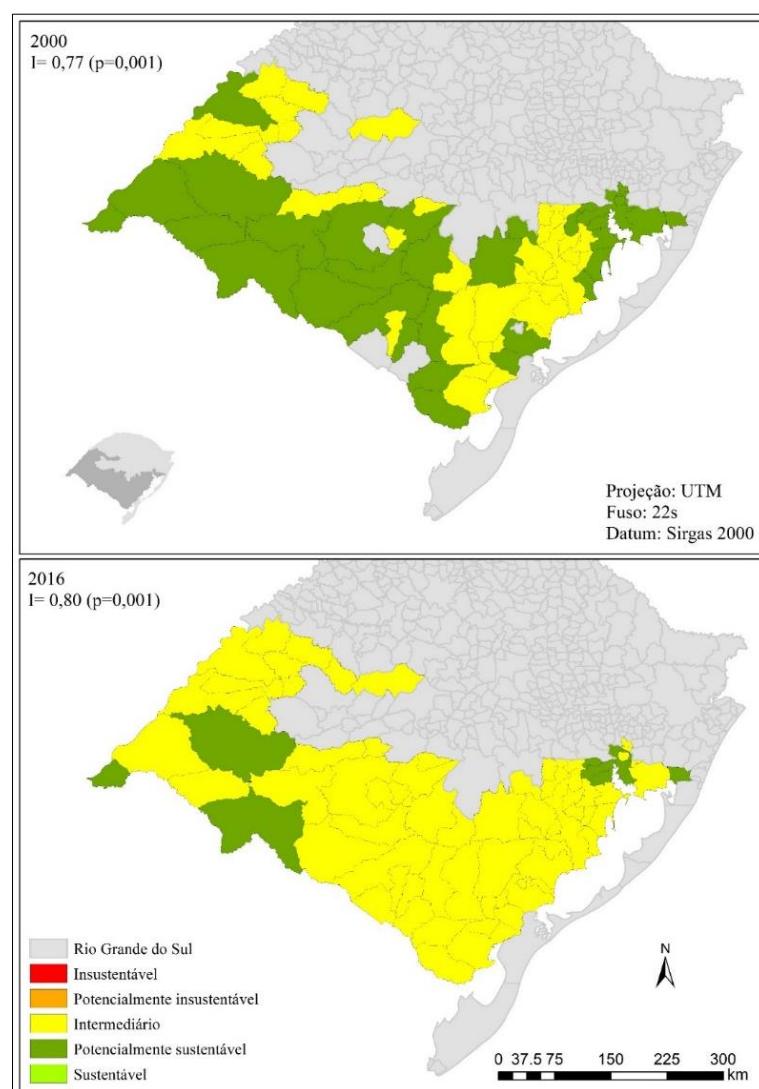
Fonte: Elaborado pelos autores.

A espacialização no segundo período mostra o retrocesso no processo de sustentabilidade, a correlação foi positiva, forte e significativa ( $p=0,001$ ), com um *cluster* que preenche boa parte da área e indica o grau intermediário de sustentabilidade, e um pequeno conjunto de municípios enquadrados na categoria potencialmente sustentável, ao nordeste do bioma Pampa (Figura 2). O conjunto de municípios potencialmente sustentável integra parte da região metropolitana de Porto Alegre e municípios vizinhos, que fizeram parte Porto Alegre, Esteio, Guaíba, Nova Santa Rita, Cachoeirinha, Charqueadas e Eldorado do Sul. O estudo de Pereira et al. (2017) foi eficiente na análise da sustentabilidade da região metropolitana de Belém, indicando situação insatisfatória, porém desigual, uma vez que, a região periférica apresenta situações de maior vulnerabilidade, em diferentes aspectos, exercendo pressão negativa no grau de sustentabilidade.

Para o bioma Pampa, as variáveis ambientais que apresentaram variações mais robustas entre as áreas intermediárias e potencialmente sustentável, foram: destinação sanitária adequada, lixo coletado, área de floresta, área de formação natural não vegetal, área de agropecuária e área não vegetada, respectivamente com 59,40 graus, 74,00 graus, 16,40 graus, 12,48 graus, 80,88 graus e 96,42 graus, na área intermediária, e com 83,69 graus, 95,21 graus, 8,49 graus, 17,42 graus, 84,46 graus e 91,24 graus na área potencialmente sustentável.

A representação espacial torna mais visual o cenário da sustentabilidade, possibilitando indicar os municípios do bioma Pampa que necessitam de intervenção mais urgente. No primeiro período, 45,2% dos municípios do bioma Pampa apresentavam grau de sustentabilidade categorizado em potencialmente sustentável, diminuindo para 14,1% no segundo período. É nítida a diferença espacial, do grau de sustentabilidade, entre a amostra de municípios do bioma Mata Atlântica e do bioma Pampa, assim como, o declínio da classificação de sustentabilidade, quando direcionado o olhar para o conjunto de municípios que integram o bioma Pampa. Portanto, é necessário a implantação ou a implementação de políticas públicas de proteção ambiental e de desenvolvimento sustentável, para que, assim como ocorreu na área analisada por Guimarães et al. (2010), possa existir um fator protetivo, visando assegurar que o grau de sustentabilidade não tenha tendência de declínio, e proporcionar possibilidades para o alcance da sustentabilidade.

No bioma Pampa, o índice de potencial poluidor da indústria aumentou em 4,88% ( $\Delta x$  0,02), diferente da tendência do bioma Mata Atlântica, e a média do coeficiente de veículos em circulação (por 1.000 habitantes) aumentou em 77% ( $\Delta x$  223,87), seguindo direção contrária da encontrada no bioma Mata Atlântica. A destinação sanitária adequada aumentou em 10,5% ( $\Delta x$  5,92), e a coleta de resíduos em 12% ( $\Delta x$  8,29). A análise descritiva por dimensão e variável, dos municípios do bioma Pampa, em 2000 e 2016, está apresentada na Tabela 6.



**Figura 2.** Espacialização do grau de sustentabilidade dos municípios do bioma Pampa, do Rio Grande do Sul, 2000 e 2016. Fonte: Elaborado pelos autores. Legenda:  $p$  = Índice de Moran, através de 999 permutações.

**Tabela 6.** Análise descritiva por dimensão e variável, municípios do bioma Pampa, 2000 e 2016.

Variável	2000				2016			
	Mínimo	Máximo	Média	dp	Mínimo	Máximo	Média	dp
Índice de Potencial Poluidor da Indústria	0	8,432	0,4	1,3	0	13,124	0,4	1,6
Frota de veículos em circulação	460	591598	22339,5	70916,1	895	835691	35206,2	100022,5
Coeficiente de veículos em circulação	92,95	490,90	290,8	82,0	228,92	794,90	514,7	97,5
Destinação sanitária em rede geral de	0,8	94,9	56,4	28,5	1,7	95,3	62,4	23,7

esgoto ou fossa séptica									
Coleta de resíduos por serviço de limpeza	1,5	99,3	68,7	26,2	19,4	99,6	77,0	22,0	
Área de floresta em hectares	340,35	131242,79	23584,2	25567,2	224,28	179407,38	27409,9	31341,6	
Área de formação natural não florestal em hectares	20,69	576524,25	84916,5	110203,8	39,36	550559,66	72586,9	97998,1	
Área de agropecuária em hectares	638,75	296745,98	49479,1	59608,3	488,52	298417,44	55684,4	64350,3	
Área não vegetada em hectares	1,24	13899,88	1382,8	2124,6	1,48	16184,92	1469,6	2357,2	
Área de corpo d'água em hectares	4,66	30850,05	3530,4	5507,0	8,86	35340,06	3628,2	5789,8	

Fonte: elaborado pelos autores. Legenda: dp= desvio padrão.

Em relação ao uso e cobertura do solo, a média da área de floresta em hectares nos municípios do bioma Pampa aumentou em 16,22% ( $\Delta x$  3.825,73), no período de análise. Embora, assim como ocorrido na Mata Atlântica, a média da área de formação natural não florestal teve tendência contrária, com diminuição de 14,52% ( $\Delta x$  -12.329,65). A área em hectare, quilometro quadrado, porcentagem e variação temporal das classes de uso e cobertura do solo no bioma Pampa, em 2000 e 2016, está na Tabela 4.

Diferente da Mata Atlântica, no bioma Pampa a média da área de agropecuária em hectares aumentou em 12,54% ( $\Delta x$  6.205,25), a área não vegetada em 6,27% ( $\Delta x$  86,76) e a área de corpo de água em 2,77% ( $\Delta x$  97,80). Esses dados corroboram com a preocupação apontada no estudo de Dalchiavon et al. (2017), que cita que a principal deficiência, para o alcance da sustentabilidade no Rio Grande do Sul, está relacionada aos indicadores de cobertura vegetal. Oliveira et al. (2017) identificaram a redução de vegetação natural no bioma Pampa, substituída por culturas temporárias e silvicultura, trazendo implicações para o planejamento e a gestão do uso do solo.

A renda média domiciliar *per capita* no bioma Pampa foi de R\$ 481,45, no primeiro período, aumentando para R\$ 627,34 no segundo, apresentando valor inferior (-21,5%) que o do bioma Mata Atlântica. A variação da renda média domiciliar *per capita* no bioma, entre a primeira e a segunda série temporal, foi de 30,3% ( $\Delta x$  R\$ 145,89). O PIB variou de R\$ 5.743,09, para R\$ 22.355,91, com mudanças calculadas em 289,3% ( $\Delta x$  R\$ 16.612,82). A diferença do PIB entre o bioma Pampa e o bioma Mata Atlântica (R\$ 27.183,69), no segundo período, foi de 21,6%.

**Tabela 7.** Área em hectare, quilometro quadrado, porcentagem e variação temporal das classes de uso e cobertura do solo no bioma Pampa (RS), em 2000 e 2016.

	2000			2016		
	Ha	Km <sup>2</sup>	%	Ha	Km <sup>2</sup>	%
Floresta	1776209,12	17762,09	14,66	2106389,67	21063,90	17,34
Formação natural não florestal	6341137,16	63411,37	52,33	5430070,03	54300,70	44,70
Agropecuária	3659352,65	36593,53	30,20	4239276,57	42392,77	34,90
Área não vegetada	93984,88	939,85	0,78	104005,26	1040,05	0,86
Corpo d'água	246160,48	2461,60	2,03	267088,47	2670,88	2,20
Não observado	68,77	0,69	0,00	67,54	0,68	0,00

Fonte: Elaborado pelos autores.

O coeficiente de Gini resultou em 0,56, no ano de 2000, e em 0,52 em 2016, valores que superam a média de desigualdade econômica, do bioma Mata Atlântica. A variação entre os dois períodos analisados foi de -7,14% ( $\Delta x$  -0,04). A taxa de analfabetismo em 2000 foi de 9,79%, diminuindo para 7,38%, acima das taxas da Mata Atlântica, porém também com tendência na qualificação da alfabetização, com diminuição de 24,6% ( $\Delta x$  -2,41).

O valor geral do Idese foi de 0,63, alterando para 0,69, em 2016, com aumento de 9,52%. Em relação ao IDH, a média do bioma Pampa foi de 0,60, no primeiro período, para 0,69 no segundo, variando em 15%. O bloco saúde foi o que apresentou os melhores índices tanto no cálculo do Idese, quanto no IDH, assim como no bioma Mata Atlântica.

No estudo de Quintela et al. (2018), que analisou a sustentabilidade na mesorregião do Marajó, no estado do Pará, caracterizando majoritariamente população residente na área rural (56,59%), indica que a mesorregião se caracteriza enquanto potencialmente insustentável, justificada pelos autores, principalmente, devido a "ineficácia dos resultados de políticas públicas integradas aliada à discrepância dos diferentes modelos de gestão municipal" (Quintela 2018, p.211).

No bioma Pampa, a média de cobertura dos serviços básicos de saúde é menor, com 68,38 no primeiro ano e 80,76 no segundo, demonstrando uma possível fragilidade no acesso aos cuidados básicos de saúde. Contudo, a evolução no indicador de cobertura dos serviços de saúde, no Pampa, foi positiva no decorrer das séries temporais, apontando para variação percentual de 18,10% ( $\Delta x$  12,38).

No bioma Pampa, as duas grandes causas de mortalidade por doenças crônicas não transmissíveis, são aquelas por doenças circulatórias ( $\bar{x}$  66,51) e por neoplasias ( $\bar{x}$  53,03) no primeiro ano, sendo que no segundo, as neoplasias ( $\bar{x}$  58,66) se sobressaem em relação às doenças circulatórias ( $\bar{x}$  50,79), semelhante ao bioma Mata Atlântica. Houve diminuição nos coeficientes de óbito por doença circulatória em 19% ( $\Delta x$  0,19), óbito por doença respiratória em 14,81% ( $\Delta x$  0,04) e neoplasia em 2,25% ( $\Delta x$  0,02). Porém, ocorreu aumento no coeficiente de óbitos por diabetes mellitus, em 27,27% ( $\Delta x$  0,03).

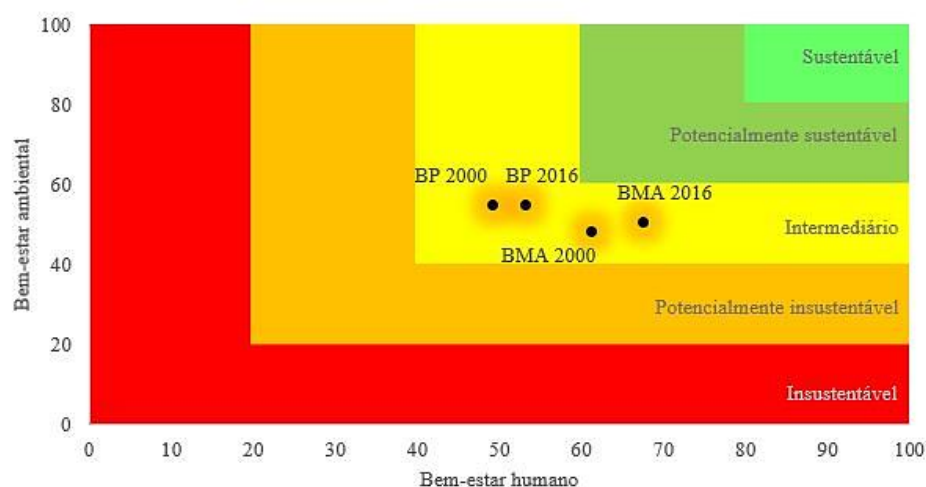
No bioma Pampa, foi apresentada correlação inversa significativa entre a cobertura dos serviços públicos de atenção primária à saúde, com a mortalidade por doença circulatória, no primeiro período ( $r=-0,297$ ;  $p=0,009$ ) e, com a mortalidade por diabetes mellitus, no segundo período ( $r=-0,238$ ;  $p=0,037$ ). Contudo, outros estudos precisam ser desenvolvidos para compreender as causas.

### ***Implicações na sustentabilidade dos biomas***

Com a aplicação do Barômetro da Sustentabilidade, os biomas analisados ficaram concentrados no nível intermediário de sustentabilidade, não havendo uma evolução significativa em 16 anos (Figura 3), semelhante ao apresentado no estudo de Vale et al. (2020), que aplicaram o instrumento em 26 municípios do Pará, que fazem parte da região do “arco do desmatamento”, em 2000 e 2010.

As variáveis ambientais no bioma Mata Atlântica apresentaram os resultados mais negativos, em todo o período analisado, principalmente, em relação ao maior coeficiente de veículos em circulação, menor destinação sanitária adequada, menor percentual de coleta de resíduos, menor área de formação natural não florestal e de corpo de água, em hectares. Embora, tenha apresentado a menor área de agropecuária, nas duas séries temporais, e a menor área não vegetada, em hectares, no segundo período.





**Figura 3.** Grau de sustentabilidade nos biomas do Rio Grande do Sul, em 2000 e 2016. Fonte: elaborado pelos autores.

Legenda: BP – bioma Pampa; BMA – bioma Mata Atlântica.

O bioma Pampa apresentou, nas duas séries temporais, o melhor (mais baixo) coeficiente de veículos em circulação, maior área de floresta e de formação natural não florestal em hectares. Os problemas ambientais encontrados no bioma são o índice de potencial poluidor da indústria e o quantitativo de áreas de agropecuária, em hectares. Para Dalchiavon et al. (2017), os indicadores de cobertura vegetal são um problema que prejudicam o desenvolvimento sustentável no Rio Grande do Sul. A comparação do valor médio das variáveis ambientais, por unidade geográfica de análise e série temporal, nos dois biomas, está apresentada na Tabela 8.

O bioma Pampa faz parte da região sul, considerada a região menos desenvolvida economicamente no Estado, e isso pode ter influenciado nos melhores índices ambientais, embora não nos socioeconômicos, ao contrário do bioma Mata Atlântica. Outra questão, é que o governo estimulou a transformação do uso do solo, através de políticas de incentivo a silvicultura, o que introduz espécies exóticas no bioma (*Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp). O pastejo também é um problema ambiental e pode estar associado à arenização (deserificação) e também à introdução de gramíneas exóticas (Oliveira et al. 2017; Renner et al. 2019; Lima et al. 2020).

**Tabela 8.** Valor médio das variáveis ambientais, por unidade geográfica de análise e série temporal.

	2000		2016	
	BMA	BP	BMA	BP
Índice de Potencial Poluidor da Indústria	0,10	0,41	0,09	0,43
Coeficiente de veículos em circulação	360,90	290,81	611,64	514,68
Destinação sanitária em rede geral de esgoto ou fossa séptica	30,61	56,45	43,98	62,37
Coleta de resíduos por serviço de limpeza	48,62	68,67	74,45	76,96
Área de floresta em hectares	7978,65	23584,22	8205,47	27409,95
Área de formação natural não florestal em hectares	2840,46	84916,51	1915,70	72586,86
Área de agropecuária em hectares	16024,01	49479,13	15860,43	55684,38

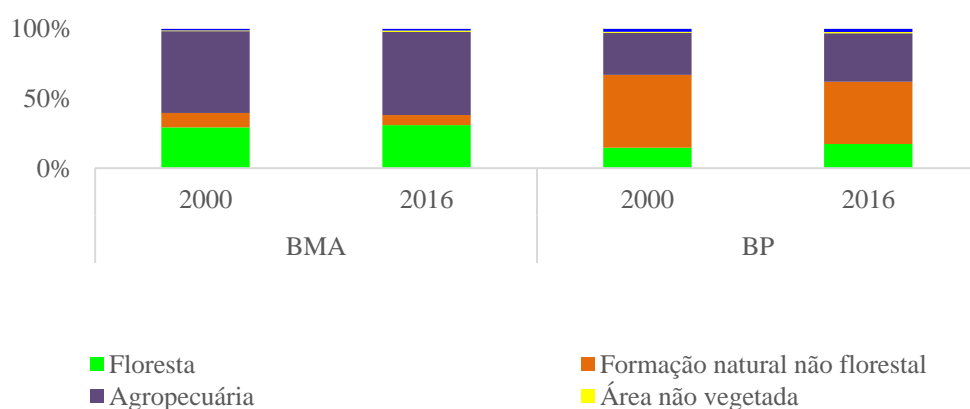
Área não vegetada em hectares	179,27	1382,81	255,04	1469,57
Área de corpo d'água em hectares	262,30	3530,43	302,08	3628,23

Fonte: elaborado pelos autores. Legenda: BMA: bioma Mata Atlântica; BP: bioma Pampa.

A análise do uso e cobertura do solo visa contribuir na avaliação da sustentabilidade, principalmente no cenário atual, considerando a relevância de sistemas sustentáveis de produção agrícola, através da adoção de formas de uso e manejo do solo que resultem em menor impacto ambiental. Desta forma, a sustentabilidade pode ser considerada, pela avaliação e monitoramento do uso e cobertura do solo (Darzi-Naftchali et al. 2020; Tziolas et al. 2020; Feng et al. 2020).

A análise do uso e cobertura do solo, no Rio Grande do Sul, indica o potencial econômico e social da atividade agrícola no Estado, assim como, a vulnerabilidade ambiental relacionada aos processos de degradação dos recursos naturais. No bioma Mata Atlântica, a classe de uso e cobertura do solo mais predominante foi a agropecuária, tanto em 2000 como em 2016 (Figura 4), com tendência de diminuição da formação natural não florestal em 30,2% e aumento da área não vegetada em 51%.

Estudos realizados no Estado apontam para problemas potenciais ou mesmo já estabelecidos, em decorrência do uso do solo (Saraiva et al. 2018; Dalchiavon et al. 2017). No bioma Pampa, a classe de uso e cobertura da terra mais predominante foi a formação natural não florestal, nos dois períodos. As variações em destaque, entre os períodos analisados, foram para o aumento da floresta (18,6%) e da agropecuária (15,8%) (Figura 4).



**Figura 4.** Percentual das classes de uso e cobertura do solo (em km<sup>2</sup>) nos biomas do Rio Grande do Sul, em 2000 e 2016. Fonte: Elaborado pelos autores. Legenda: BMA: bioma Mata Atlântica; BP: bioma Pampa.

Em relação aos indicadores socioeconômicos, o bioma Mata Atlântica contemplou os melhores indicadores relacionados ao coeficiente de Gini e Idese geral, assim como as menores taxas de analfabetismo. No segundo período, integrou os melhores indicadores de renda média domiciliar *per capita*, PIB e IDH geral. Enquanto que, o bioma Pampa contemplou os piores indicadores de renda média domiciliar *per capita* e taxa de analfabetismo, assim como, obteve os piores indicadores relacionados ao Idese geral, no primeiro período, e ao coeficiente de Gini no segundo. De forma geral, os resultados mostram que o bioma Pampa apresentou os melhores índices de bem-estar ambiental, enquanto que, o bioma Mata Atlântica contemplou os melhores índices de bem-estar humano, embora, nenhum deles tenha sido classificado como sustentável, o que indica a necessidade

de implantação de ações eficazes para o desenvolvimento sustentável, nos dois biomas que integram o Rio Grande do Sul.

#### 4. Conclusões

Os dois biomas foram considerados com grau intermediário de sustentabilidade, nos dois períodos analisados, e não houve evolução considerável no grau de sustentabilidade em 16 anos. O índice de bem-estar ambiental foi categorizado intermediário, e o índice de bem-estar humano, com grau potencialmente sustentável, no bioma Mata Atlântica.

Foi possível mensurar o grau de sustentabilidade de cada variável, a fim de compreender quais exercem mais pressão negativa ao desenvolvimento sustentável, assim como, quais os municípios com menor desempenho. No primeiro período a Mata Atlântica integrou 184 (57,3%) municípios considerados com grau intermediário de sustentabilidade e 137 (42,7%) com grau potencialmente sustentável. No segundo período, foram 212 (62,0%) com grau intermediário e 130 (38,0%) potencialmente sustentável.

No bioma Pampa, foram 40 municípios (54,8%) considerados com grau intermediário e 33 (45,2%) potencialmente sustentáveis, no primeiro período, enquanto que, no segundo, houve aumento para 67 (85,9%) municípios com grau intermediário de sustentabilidade, representando a diminuição 14,1% dos municípios considerados potencialmente sustentáveis, apresentando melhor desempenho parte da região metropolitana de Porto Alegre e municípios vizinhos.

A distribuição espacial do grau de sustentabilidade, indica tendência de *clusters* e correlação positiva e significativa ( $p=0,001$ ), para a correlação do grau de sustentabilidade, nos dois biomas, tanto em 2000 quanto em 2016, indicando que o grau de sustentabilidade não é aleatório.

#### Referências

- Batalhão SCA, Teixeira D, Lobo EG. The Barometer of Sustainability as a Monitoring Tool of the Sustainable Development Process in Ribeirão Preto, Brazil. *Journal of Environmental Science and Engineering* [serial on the Internet]. 2017 [cited 2020 oct 24];6:[about 6 p.]. Available from: <https://doi.org/10.17265/2162-5298/2017.03.002>
- Brasil 2011. *Plano de ações estratégicas para o enfrentamento das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) no Brasil 2011-2022*. Brasília, 166 pp. [cited 2020 oct 24]. Available from: [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/plano\\_acoes\\_enfrent\\_dcnt\\_2011.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/plano_acoes_enfrent_dcnt_2011.pdf)
- Cetrulo TB, Cetrulo MN. Sustainable development and Brazilian states: comparison using the Sustainability Barometer. *Environmental Impact II* [serial on the Internet]. 2014 [cited 2020 oct 24];181:[about 11 p.]. Available from: <https://doi.org/10.2495/EID140241>
- Dalchiavon EC, Baço FMB, Mello GR. Barômetro de Sustentabilidade Estadual: uma aplicação na região sul do Brasil. *Revista Gestão e Desenvolvimento* [serial on the Internet]. 2017 [cited 2020 oct 24];14(1):[about 15 p.]. Available from: <https://doi.org/10.25112/rgd.v14i1.374>
- Darzi-Naftchali A, Bagherian-Jelodar M, Mashhadi-Kholerdi F, Abdi-Moftikolaei M. Assessing socio-environmental sustainability at the level of irrigation and drainage network. *Science of The Total Environment* [serial on the Internet]. 2020 [cited 2020 oct 24];731(20). Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138927>
- Feng Y, Lei Z, Tong X, Gao C, Chen S, Wang J, Wang S. Spatially-explicit modeling and intensity analysis of China's land use change 2000–2050. *Journal of Environmental Management* [serial on the Internet]. 2020 [cited 2020 oct 24];263. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110407>
- Guijt I, Moiseev A, Prescott-Allen R 2001. *IUCN resource kit for sustainable assessment: overview, facilitators materials and slides for facilitators*, Gland - Switzerland: IUCN Monitoring and Evaluation Initiative, pp. 93.

- Guimarães LT, Turetta APD, Coutinho HLC. Uma proposta para avaliar a sustentabilidade da expansão do cultivo da cana-de-açúcar no estado do Mato Grosso do Sul. *Sociedade & Natureza* [serial on the Internet]. 2010 [cited 2020 oct 24];22(2):[about 14 p.]. Available from: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132010000200007>
- Kronemberger DMP, Clevelario Junior J, Nascimento JAS, Collares JER, Silva LCD. Desenvolvimento sustentável no Brasil: uma análise a partir da aplicação do barômetro da sustentabilidade. *Sociedade & Natureza* [serial on the Internet]. 2008 [cited 2020 oct 24];20(1):[about 25 p.]. Available from: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132008000100002>
- Lima DO, Crouzeilles R, Vieira MV. Integrating strict protection and sustainable use areas to preserve the Brazilian Pampa biome through conservation planning. *Land Use Policy* [serial on the Internet]. 2020 [cited 2020 oct 24];99. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104836>
- Oliveira TE, Freitas DS, Gianezi M, Ruviano CF, Zago D, Mércio TZ et al. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. *Land Use Policy* [serial on the Internet]. 2017 [cited 2020 oct 24];63:[about 6 p.]. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.010>
- Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) 2020. *Folha informativa: atenção primária à saúde*, 2020 [cited 2020 oct 24]. Available from: [https://www.paho.org/bra/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5858:folha-informativa-atencao-primaria-de-saude&Itemid=843](https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5858:folha-informativa-atencao-primaria-de-saude&Itemid=843)
- Pereira F, Vieira Guimarães CI, Toledo MP. Panorama da sustentabilidade em um contexto urbano/ metropolitano na Amazônia a partir de duas ferramentas internacionais. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais* [serial on the Internet]. 2017 [cited 2020 oct 24];8(4):[about 16 p.]. Available from: <https://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.004.0010>
- Quintela PDA, Toledo PM, Vieira ICG. Desenvolvimento sustentável do Marajó, Pará: uma visão a partir do Barômetro da Sustentabilidade. *Novos Cadernos NAEA* [serial on the Internet]. 2018 [cited 2020 oct 24];21(1). Available from: <http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v21i1.4891>
- Renner S, Périco E, Dalzochio MS, Sahlén G. Ecoregions within the Brazilian Pampa biome reflected in Odonata species assemblages. *Austral Ecology* [serial on the Internet]. 2019 [cited 2020 oct 24];44(3):[about 11 p.]. Available from: <https://doi.org/10.1111/AEC.12680>
- Ribeiro MC, Martensen AC, Metzger JP, Tabarelli M, Scarano F, Fortin MJ 2011. The Brazilian Atlantic Forest: a shrinking biodiversity hotspot. In FE Zachos, JC Habel. *Biodiversity hotspots*. Springer, Berlin, p. 405–434.
- Santos AR, Araújo EF, Barros QS, Fernandes MM, Fernandes MRM, Moreira TR et al. Fuzzy concept applied in determining potential forest fragments for deployment of a network of ecological corridors in the Brazilian Atlantic Forest. *Ecological Indicators* [serial on the Internet]. 2020 [cited 2020 oct 24];115. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106423>
- Saraiva DD, Santos AS, Overbeck GE, Giehl ELH, Jarenkow JA. How effective are protected areas in conserving tree taxonomic and phylogenetic diversity in subtropical Brazilian Atlantic Forests? *Journal for Nature Conservation* [serial on the Internet]. 2018 [cited 2020 oct 24];42:[about 7 p.]. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.02.002>
- Tziolas N, Tsakiridis N, Ogen Y, Kalopesa E, Ben-Dor E, Theocharis J, Zalidis G. An integrated methodology using open soil spectral libraries and Earth Observation data for soil organic carbon estimations in support of soil-related SDGs. *Remote Sensing of Environment* [serial on the Internet]. 2020 [cited 2020 oct 24];244. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111793>
- United Nations World Commission on Environment and Development (UNWCED) 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, pp. 300.
- Vale FAF, Toledo PM, Vieira ICG, Santos Junior RAO. Sustentabilidade municipal no contexto de uma política pública de controle do desmatamento no Pará. *Economía, sociedad y territorio* [serial on the Internet]. 2020 [cited 2020 oct 24];20(62):[about 32 p.]. Available from: <https://doi.org/10.22136/est20201401>